外文文献及翻译

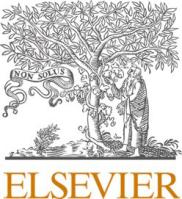
**学生姓名 黄晓雪**

**专业班级 17过程装备与控制工程1班**

**学 号 17210060108**

机械与电气工程学院

应用热工182（2021）116013



**应用热能工程**

期刊主页: [www.elsevier.com/locate/apthermeng](https://www.elsevier.com/locate/apthermeng)

**利用不同的纳米流体对不同取向的壳体和螺旋盘管换热器的性能评估**

**文章信息**

**关键词:**

SHCT-HE

纳米流体

倾角

线圈努塞尔特数

绩效评估标准

多重回归分析

**摘要**

在本研究中，研究了倾斜角度(ɵ)对壳式螺旋管换热器的影响(SHCT-HE)的性能利用基水，研究了Al2O3/水和SiO2/水纳米流体实验。热基水以及体积浓度(ϕ)为0.1 vol%、0.2 vol%、在卷管雷诺数(Rec)为6000 ~ 15000的条件下，通过卷管的流量为0.3 vol%。斜角是测量从横轴的SHCT-HE作为0°，30°，60°，和90°。结果表明:增大线圈倾角有助于提高线圈的努赛尔数(nuselt number, Nuc)和SHCT-HE (ε)的有效性;降低了盘管压降(δ pc)。其中，在卷雷诺数为15000时，对于基水、Al2O3/水和SiO2/水的纳米流体，将SHCT-HE从水平方向改为垂直方向，卷努赛尔数分别提高了11%、8.3%和7.5%。在换热器垂直方向和盘管雷诺数为6000时，利用0.1 vol%的Al2O3/水纳米流体，盘管Nusselt数和效率分别比基水显著提高了35.7%和35.5%。此外，增加倾角高达30◦保持性能评价标准(PEC)几乎恒定和更多的上升到垂直方向减少PEC。利用多元回归分析，提出了经验相关性来估计基于水、Al2O3/水和SiO2/水纳米流体的线圈努塞尔特数(Nuc)作为Rec、θ和ϕ的函数。

## 1. 引言

在过去的几十年中，在改善热交换器的热性能和流动特性方面取得了相当大的进展[1,2]。 壳体和螺旋管式换热器(SHCT-HE)比传统的壳管式换热器更可取，它提供了紧凑的尺寸，可用于高温应用。SHCT 换热器保证了较高的流体混合，因此其传热系数比直管换热器高[3]。工作流体在盘管中的流动产生离心力，形成二次流动，负责增强传热特性；然而，与直管相比，它增加了压降。 有许多采用 SHCT-HE 的工程技术，如制冷和空调系统、热回收工艺和食品加工等。[4,5].

传统的流体，如水和空气，具有相对较低的导热系数，限制了传热速率。 通过将纳米粒子分散到传统的传热流体中，可以

保持传统传热流体的热导率，而不会对其化学和物理性质发生显著变化，从而提高传热速率。 此外，增加纳米粒子的体积浓度会增加纳米流体的粘度，从而导致其较高的压降，从而提高泵浦功率[6,7]。 对纳米流体的热物理性质进行了研究， 以获得相对低粘度的高热导率[8,9,10,11]。 邱等人综述了纳米材料的最新进展及其热物理性质的测量和建模。[12]。 此外，Mahian 等人。[13] 详细概述了纳米流体的制造、热物理性能和应用。 此外，他们还讨论了纳米流体流动产生的不同力，如阻力、升力、范德华尔、布朗、热泳和静电力。 然后，详细描述了纳米流体流动和从单相到两相模型的传热的基本物理模型。

1

***缩写词***

*PEC* 绩效评估准则

*SHCT-HE* 壳体和螺旋盘管换热器

倾角 [degree]

压降 [bar]

传热效率 [-]

纳米粒子的体积浓度 [%]

动态粘度 [kg/m.s]

密度 [kg/m3]

时间[sec]

*ɵ*

*ΔP*

***ε*** *ϕ μ ρ* ***τ***

实际

平均

大量

基于布朗运动的流体

线圈

雷诺数 (*Re* = (*ρuDh*)/*μ* ) [–]

温度 [oC]

体积流量 [m3/s]

速度 [m/s]

***希腊字母***

有效

冰点

热

液压

冷

入口

核心

最大值

纳米流体

出口

外部

纳米粒子

表面

贝壳

管

*eff fr H*

*h C I*

*i* max *nf*

*O*

*o p s sh t*

螺距 [mm]

换热速率 [W]

编号 (*Nu* = *hDh*/*k*) [–]

*D* [–]

*i c*

*t*,

. )

粒子直径 [nm]

对流换热系数 [W/m2.◦C]

导热系数 [W/m.K]

玻尔兹曼常数 [1.38066x10-23 J/K]

长度[mm]

质量流量 [kg/s]

线圈匝数 [–]

曲率比 *D* /

布朗扩散系数 [m2/s]

表面积 [m2]

恒压比热 [kJ/kg.K]

直径 [mm]

**命名法**

*A*

*Cp D DB DR D H K*

*Kb L*

*m*˙ *N*

*Nu P*

*Q*˙

*Re T*

*V*˙

*U*

***下标法***

*act*

*avg*

*b*

*B*

*bf c*

Kumar等人[14]实验研究了使用不同体积浓度的Al2O3/水纳米流体的壳管和盘管换热器的热性能和摩擦因数为层流的0.1 vol%， 0.4 vol%和0.8 vol%。0.8vol%浓度的整体传热系数、内部传热系数和内部Nusselt 数分别比水的传热系数分别提高了 24%、25%和 28。增加纳米流体的体积浓度增加了摩擦因子。 斯利尼瓦斯和维努·维诺德 [15] 实验研究了不同重量浓度的 CuO/水纳米流体对壳层和盘管换热器的传热。，0.3wt%， 0.6wt%，1wt%，1.5wt%和 2wt%。故与基水相比，使用纳米流体改善了传热。这种传热增强随着纳米流体的 Dean 数和重量浓度的增加而增加。Khorasani 等人[16] 实验研究了螺旋线机的热性能。

Mirgolbabaei [17] 数值研究了考虑线圈壁共轭热边界的实际条件下，改变壳侧质量流量、线圈管直径比和线圈螺距的垂直 SHCT-HE 的热性能。结果表明，增加线圈螺距降低了SHCTHE 的有效性，而改变管径对SHCTHE 的有效性影响不大。 此外，将线圈螺距提高到一定值也会降低壳侧的传热系数，而进一步增大线圈螺距则会提高壳侧的传热系数。 Kannadasan 等人。 [18] 采用CuO/水纳米流体对螺旋盘管换热器的热性能和压降进行了实验研究。结果表明，增加纳米流体的 Dean 数和体积浓度提高了换热器的 Nusselt 数(Nu。 此外，降低 Dean 数和增加体积浓度增加了摩擦因子。此外，还提出了计算湍流状态螺旋管式换热器 Nusselt 数的关联式。斯利尼瓦斯和维努·维诺德[19]用 Al 对壳体和螺旋盘管换热器的传热和有效性进行了实验研究 2o3 水、铜、水和钛 2 不同重量浓度为 0.3wt%、0.6wt%、1wt%、1.5wt%和 2wt%的水纳米流体%。 结果表明，该换热器的有效性 2o3 水、CuO/水和 TiO2/水纳米流体分别比基水高 30.37%、32.7%和 26.8。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **(1)** 冷却装置 | **(2)** 供暖装置 | **(3)** 操作人 | **(4)** SHCT-HE |
| **(5)** 压力表 | **(6)** 流量调节器 | **(7)** 拖拉器 |  |

图1. 螺旋管换热器(SHCT-HE)在垂直方向的外壳现实照片



**4**

**1**

**7**

**5**

**2**

**3**

**6**

**5**

Elshazly 等人。 [20] 用 y-AlzOs/水纳米流体对水平壳层和螺旋盘管换热器的热性能进行了实验研究。 研究了五个螺旋线圈的不同线圈直径(p***c*D*c***在湍流状态下，从 0.0442 到 0.1348 不等。 从 0vol% 到 2vol%，Y-A]2O3 纳米粒子的体积浓度变化%。 结果表明，减小螺旋线圈的扭转，提高了螺旋线圈的传热速率，从而提高了螺旋线圈的热性能指标，提高了螺旋线圈的摩擦系数(FC)。 Fule 等人。 [21] 用体积浓度为 0.1vol%~0.5vol%的CuO/水纳米流体对螺旋盘管换热器的传热性能进行了实验研究，Re 从 812 变化到 1895。 结果表明，采用0.1vol%和 0.5vol%浓度的 CuO/水纳米流体，与基础流体相比，传热系数分别提高了 37.3%和 77.7。此外，将雷诺数从 812 增加到 1895， 使传热系数增加了 4.4 倍。 Ferng 等人。 [22] 数值研究了螺距尺寸对 SHCT-HE 流体流动特性和热性能的影响。 结果合理地描述了SHCT-HE 中发生的复杂流体流动现象，包括壳程内的流动分离和加速度、盘管内的重要二次流动和产生的两个尾流涡在线圈后面。

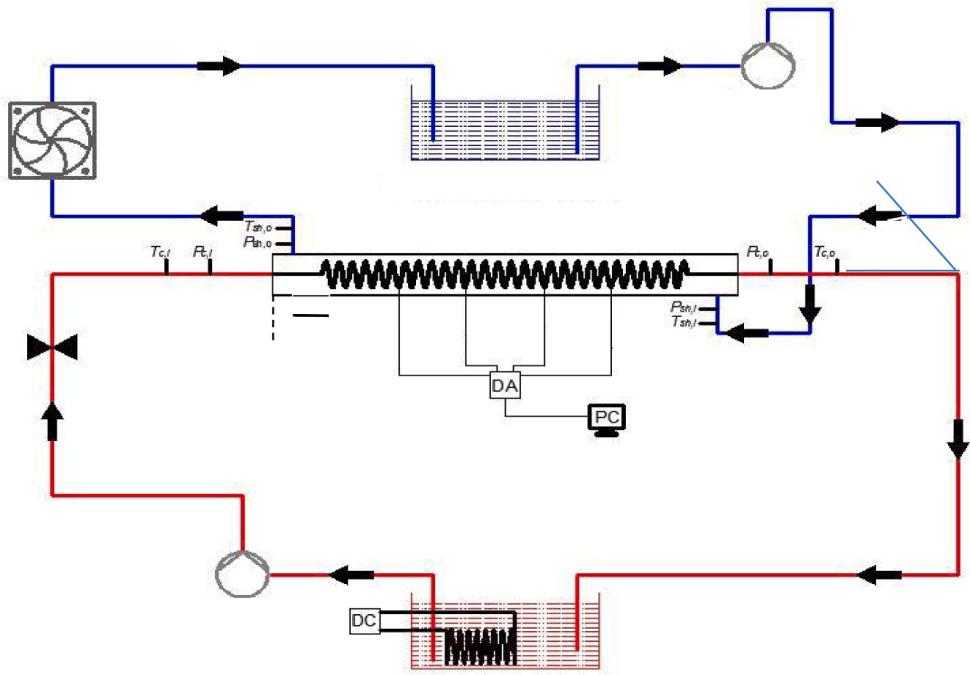


图2.实验装置在水平方向上的示意图.

Bhanvase 等人。 [23] 实验研究了 PANI（聚苯胺）纳米流体在体积浓度为 0.1vol%~0.5vol%的情况下盘管换热器的热性能%。 结果表明，0.1vol%和 0.5vol%浓度的 PANI 纳米纤维比蒸馏水的传热系数分别提高了 10.52%和 69.62。Jamshidi 等人。[24] 用体积分数为 1%~3% 的 AlzOg/水纳米流体对螺旋线圈的热性能和摩擦因数进行了数值研究。 采用数值模拟和田口法研究了流体流动和几何参数对线圈传热速率和压降的影响。 此外，还对水和纳米流体等表面温度螺旋线圈的设计参数进行了优化。 结果表明，固定管直径和长度的螺旋管最重要的设计参数是线圈的直径和螺距。 增加体积分数，Re 增加Nu。同时，通过增加体积分数和降低 Re，摩擦因数增加。Wang 等人。[25] 实验和数值研究了三管SHCTHE 的性能。 结果表明，强扰动边界层的能力改善了径向和周向管壁附近的速度。此外，螺旋三叶管的热性能提高约为螺旋三叶管1.16 -1.36 倍，

但摩擦因数急剧增加 0.96-1.10 倍。

Bahrehmand 和 Abbassi [26] 利用 AlzOg/水纳米流体对壳体和螺旋盘管换热器的传热行为和压降进行了数值研究。 纳米粒子的体积浓度从 0.1vol%变化到 0.3vol%，线圈雷诺数(Ke***c***)从 9000 到 36000 不等，外壳(Re***s***h)由 600 改为 2600。 结果表明，纳米流体的使用提高了传热速率和压降。 此外，增加管圈直径和纳米流体的体积浓度提高了换热器的效率， 但随着质量流量的增加， 其效率降低。Akbaridoust 等人。[27] 对不同曲率比的恒定壁温下流经盘管的水纳米流体的传热特性和压降进行了实验和数值研究。工作流体状态为层流稳态流动，体积分数为 0.1%和 0.2%。 结果表明，纳米颗粒的曲率比、雷诺数和体积分数的增加增加了传热系数和压降。 此外， 螺旋管的传热比使用基流体的直管高。 此外，性能指标随着曲率比的增加而增加。

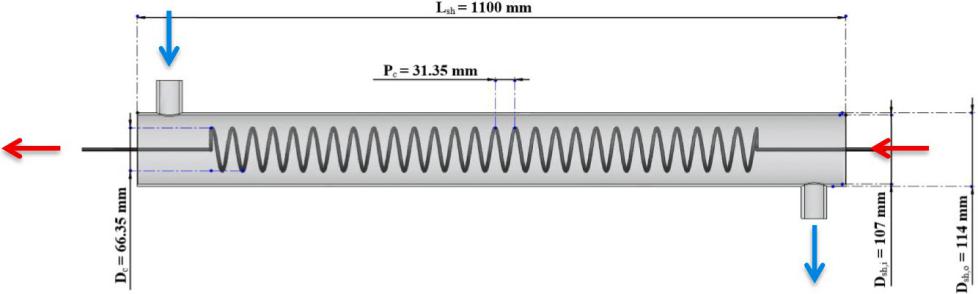
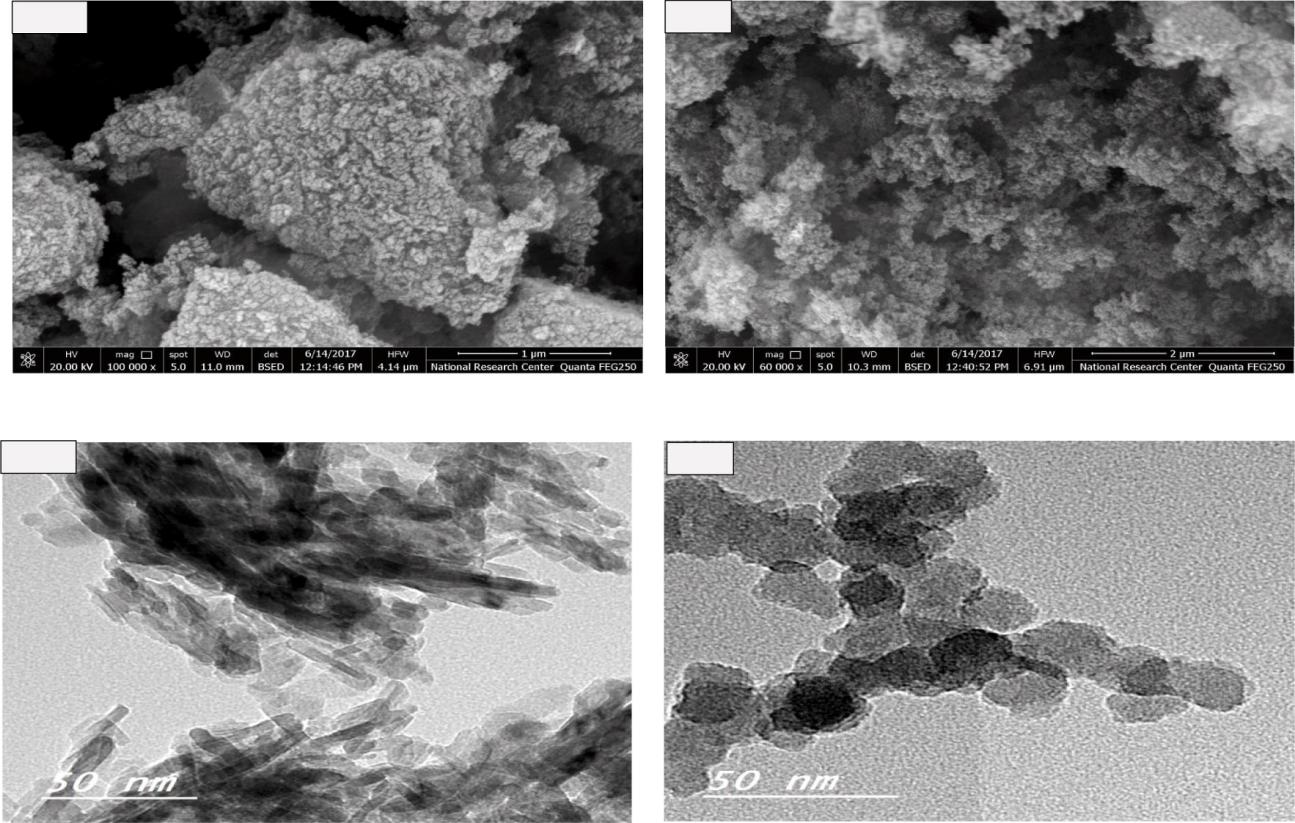


图3.壳体和螺旋管换热器的基本几何参数



Al2O3

SiO2

**(a)**

Al2O3

SiO2

表1.纳米粒子的热物理性质

**(b)**

图4.ABO3 和 SiO 的特性纳米粒子(A)SEM 图像(B)TEM 图像

.

热物理性质 Al2O3 SiO2

密度, *ρ* [kg/m3] 5602.4 3427

比热, *cp* [J/kg.K] 880 789

热导率, *k* [W/m.K] 44.5 1.65

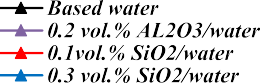
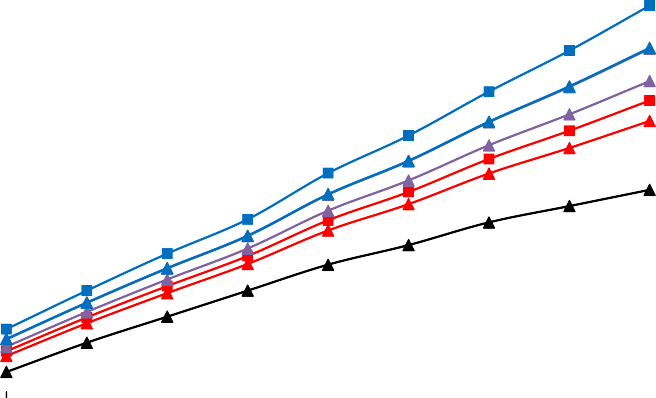
纳米粒子的平均直径, *dp* [nm] 50

Rakhsha 等人 [28] 对 0.1vol%浓度流过水平螺旋管的CuO/水纳米流体的热性能和压降进行了数值和实验研究。 结果表明，增加雷诺数和盘管的曲率比增加了压降和传热系数。 此外，根据实验结果， 使用纳米流体分别增加了 16-17%和 14-16%的压降和传热系数，而不是基础流体。 此外，传热系数和压降随温度的升高而增大曲率比和雷诺数。

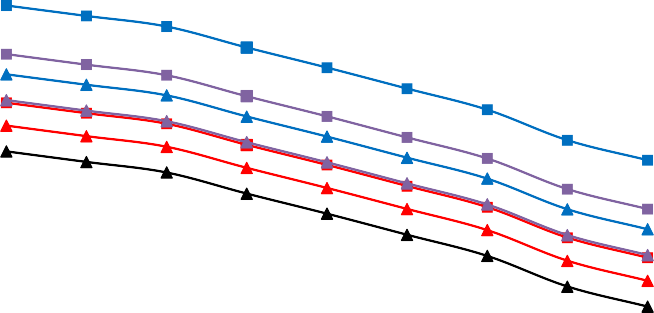
# 



图5.不同体积浓度的碱水和 AL^Os/水和 SiOZ/水纳米流体的热物理性质，如(A)密度(B)比热(C)热导率







Mahmoudi等人利用TiO2/水纳米流体对水平盘管的传热行为和压降进行了实验和数值研究。研究了纳米流体的曲率比和体积浓度随雷诺数(3000 ~ 18000)变化的影响。结果表明，使用纳米流体而不是基水可以增强传热，并增加压降。在层流流态和湍流流态下，本文提出的计算Nusselt数和摩擦系数的关系式分别为雷诺数、普朗特数、体积浓度和曲率比的函数。

传统壳管-螺旋管换热器(SHCT-HE)的研究进展主要集中在强化换热器的换热过程中可能伴随着压降的增加。此外，先前的研究考察了SHCT-HE在水平方向和垂直方向上的不同操作和设计参数。据作者所知，在现有文献中没有记录可变取向的SHCT-HE的热性能和压降。

表2.实验测量的不确定性

可变的 不确定值 (%)

温度, ***t*** ± 0.39%

倾角, ***ɵ*** ± 1.15%

雷诺数, ***Rec*** ± 2.73%

Nusselt Number, ***Nuc*** ± 3.24%

成效, ***ε*** ± 2.74%

压降, ***ΔPc*** ± 3.1%

## 实验装置和程序

SHCT-HE垂直方向实验装置实拍如图1所示;而SHCT-HE水平方向的原理图如图2所示。实验装置由SHCT-HE、GUNT WL 110.20冷水机组冷却机组、GUNT WL 110服务机组加热机组、支架组成。加热和冷却装置分别为SHCT-HE提供所需的冷热工作流体。





图6. 线圈 Nusselt 号码(Nuc)对 Rec在 SHCT-HE 的垂直方向上，不同体积浓度的(A)AbOG/水(B)SiOZ/水纳米流体





因此，本设计的目的是利用Al2O3/水和SiO2/水纳米流体来评估SHCT-HE在不同倾角下的传热和压降。采用线圈Nusselt数(Nuc)、效率(ε)和线圈压降(δ pc)三个指标对SHCT-HE的性能进行了评价。为了综合评价SHCT-HE的性能，传热强化伴随着压降，研究了SHCT-HE的性能评价标准(PEC)。最后，利用多元回归分析得到了估算各工质线圈努赛尔数(nuselt number, Nuc)的经验方程。加热和冷却装置配有储水箱、泵、显示器和适当的控制系统来调节冷热工作流体的进口温度和流量。SHCT-HE的基本几何参数如图3所示。螺旋管由27圈数(N)的铜管制成，其内径(Dt,i)为4.35 mm，外径(Dt,o)为6.35 mm。外壳由内径为107 mm (Dsh,i)、外径为114 mm (Dsh,o)的PVC管制作而成，采用导热系数为0.0432 W/m.K的玻璃纤维棉绝缘材料与外界绝缘。冷水以恒定雷诺数(Resh) 900流过壳体。而体积浓度为0.1 vol%、0.2 vol%和0.3 vol%的基水、Al2O3/水和SiO2/纳米流体在雷诺数(Rec)为6000~15000螺旋管内流动。

在本研究中，实验是在逆流结构中进行的，即热流体从上到下流动。热流体和冷流体以指定的流量泵入到SHCT-HE所需入口温度的封闭循环。对于每个实验，冷流体(TI,C)和热流体(TI, H)的入口温度是恒定的15◦C和60◦C，分别。流量，入口和出口温度的螺旋管和壳和两侧的线圈表面温度(T1, T2, T3, T4)记录在稳态运行。在管壁上钻孔，深度可达毫米，将热电偶连接点插入管壁。将热电偶接点插入管壁后，用金属片紧紧地覆盖，使其与管壁表面通过特殊的胶水保持良好的接触。然后，它是紧密覆盖的特氟隆胶带，以避免水渗透到交界，甚至在60◦C的最高操作温度为热水流过盘管。这种组装是为了确保热电偶连接得到精确的保护，并消除对热电偶读数的干扰。以及，避免任何流体干扰接触到热电偶接点。因此，在将热电偶连接固定在管壁表面时要非常小心，以减少管壁温度测量的不确定性。此外，还记录了螺旋管的进口和出口压力。每个参数的实验结果记录六次，以计算其平均值。SHCT-HE的方向从水平方向(0◦)改变为垂直方向(90◦)手动借助于机械夹具。对于每个方向，螺旋螺旋管和壳体的入口和出口的温度和压力以及线圈的表面温度都被记录下来。

.

## 纳米流体的材料和制备

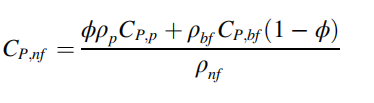
氧化铝和二氧化硅纳米颗粒的重量，所需的体积浓度，由分析天平测量。纳米流体在龙实验室MS-S的磁力搅拌器中搅拌，然后将其置于生物制品公司的超声波均质器(model 3000)中4小时，以使其稳定均匀。在本研究中，通过超声波破碎过程，观察纳米颗粒的沉降。在实验中，制备的不同体积浓度的纳米流体被立即用于防止纳米颗粒的沉积。实验过程中没有观察到纳米颗粒沉降和浓度的变化。通过从加热单元的热槽中测量纳米流体样品的密度，可以准确地检测纳米颗粒沉降的趋势。

## 纳米流体的热物理性质

纳米粒子的热物理性能对纳米流体的热特性有重要影响，进而影响着换热器的性能。表1列出了在埃及开罗国家研究中心测试的Al2O3和SiO2纳米颗粒的热物理性质，如密度、比热和导热系数。使用各种相关关系估计AL2O3/水和SiO2/水纳米流体的热物理性质，其中纳米流体(ρnf)的密度由下式计算[12,30]

*ρnf* = *ϕρp* + *ρbf* (1 — *ϕ*) (1)

Al2O3/水和SiO2/水纳米流体(CP,nf)的比热计算如下[30,31]

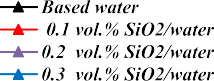
采用平均粒径为50 nm、纯度为95%的Al2O3和SiO2纳米粒子，研究了SHCT-HE的性能。图4为埃及开罗国家研究中心获得的Al2O3和SiO2纳米粒子的扫描电子显微镜(SEM)和透射电子显微镜(TEM)图像。在本研究中，实现了适当的混合和超声过程，以保持纳米颗粒在基流体中的适当分散。分别以0.1 vol%、0.2 vol%和0.3 vol%的体积浓度制备了Al2O3/水和SiO2/水纳米流体。 (2)

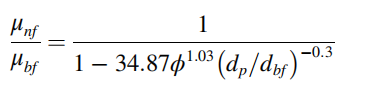
纳米流体的有效动态粘度(μnf)由以下经验关系估计



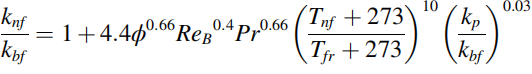
# 

图7.对于不同体积浓度的基水、Al2O3/水和SiO2/水纳米流体，在Rec = 15000时线圈努塞尔数(Nuc)与SHCT-HE的倾角的关系



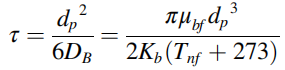
 (3)

纳米流体(knf)的有效导热系数由以下公式估计

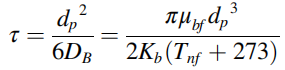
 （4）

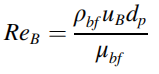
其中，ReB是布朗运动的雷诺数，计算如下

其中，移动纳米粒子所需的时间(τ)可以根据Keblinski等人[33]给出的关系式计算。

 （7）

其中DB为布朗扩散系数，单位为m2 /s, Kbis为玻尔兹曼常数，等于1.38066\*10∈23 J/K。所以，纳米粒子布朗运动的雷诺数是

 （8）



(5)

uB是平均布朗速度，单位是m/s。纳米粒子的布朗速度定义为纳米粒子的直径(dp)与纳米粒子移动等于其直径距离的时间(τ)之间的比值，可计算为

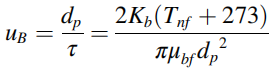
 （6）图5说明了不同体积浓度的基水、AL2O3/水和SiO2/水纳米流体的密度、比热和导热系数与工作温度的关系。很明显，密度随温度的升高而减小。同时，Al2O3/水纳米流体的密度高于SiO2/水纳米流体的密度，这是由于Al2O3纳米颗粒的密度高于SiO2纳米颗粒。此外，在不同温度下，Al2O3/水和SiO2/水纳米流体的密度均高于基水。







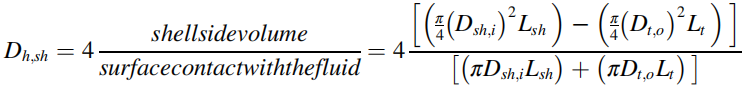


图8.不同体积浓度的纳米颗粒(a) Al2O3/水(b) SiO2/， SHCT-HE垂直方向上的热交换器效率(ε)对Rec的影响水的纳米流体

## 数据简化

在考虑了不同纳米流体的影响下，研究了壳式螺旋管换热器(shc)的性能(ɵ)。冷热流体之间的对流换热可以用每种流体的质量流量、进口和出口温度以及换热表面积来估计。热流体通过螺旋管;而冰冷的蒸馏水则从壳内流过。本文对线圈Nusselt数(Nuc)、SHCT-HE (ε)的有效性、线圈压降(δ pc)以及性能评价标准(PEC)进行了评价。

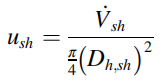
其中，ρ为密度，μ为按体积流体平均温度计算的动态粘度，Dh为连续管的水力直径，其值等于其内径;而壳体的水力直径可由下式[37]计算



（13）

所以，壳体的水力直径等于80mm。

此外，计算了流体通过壳体(ush)的速度

 （14）

* 1. ***热量传递***

对流换热采用牛顿冷却定律表示，能量方程如下所示

9 （9）

因此，螺旋盘管(Nuc)的努塞尔特数可以表示为

13 （11）

在本研究中，knf和Cp是在平均体积温度下计算的。此外，壳层或螺旋盘管的雷诺数(Re)表示为

*Re* = (*ρuDh*)/*μ* （12）

而在m2和Tb的螺旋管的表面积，avgis热流体在◦C的平

均体积温度是由

（10）

—

*π*

（10）

# 

10

Furhermore, the velocity of the fluid through the shell (*ush*) is

通过使用Eqn测量四个局部温度(如图2所示)来估计平均线圈表面温度。(11)。同时，在区间[x4, x1]中使用数值梯形法则进行计算，该区间被分成n个等距的子区间。结果表明，两种方法对不同的工作流体(基水、Al2O3/水和SiO2/水纳米流体)随线圈雷诺数(Rec)和倾角(ɵ)的变化计算Ts、avg的误差均小于1%。















# 



图9.对于不同体积浓度的基水、Al2O3/水和SiO2/水纳米流体，热交换器(ε)对SHCT-HE倾角Rec = 15000的影响

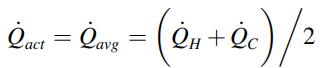
***4.2.换热器效能（e）***

换热器的效率可以表示为

17 （15）

Qact和Qmax分别为实际和最大的传热率，单位为瓦特。

通过目前的实施，确定Qact为冷热加工介质的平均换热速率，由下式计算

 （16）

对于逆流式换热器，最大换热量(Qmax)由

19 （17）

*4.3.线圈压降 (****ΔPc****)*

此外，热流体通过螺旋盘管的压降δ pc等于螺旋盘管入口和出口的压差，可以用以下关系来估计

)

*20* (18)

其中δ pc为bar中的线圈压降，PI,c和PO,c为bar中螺旋盘管的入口和出口压力。

***4.4业绩评估准则 (PEC)***

本研究采用性能评价标准(PEC)对Al2O3/水和SiO2/水纳米流体换热器的性能进行了评价，并与基水的相应响应值进行了比较。传热强化与压降之间存在着性能评价标准。用于评估相同泵浦功率下SHCT-HE的换热强化效果，可由下式计算

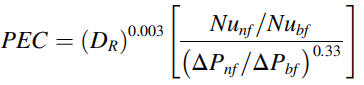
1. **实验结果与讨论**

***6.1.线圈努赛尔数***

图6显示了在SHCT-HE垂直方向上，纳米粒子体积浓度随线圈雷诺数(Rec)的变化对线圈Nusselt数(Nuc)的影响。结果表明，Al2O3/水和SiO2/水的纳米流体比基水的纳米流体更能增强Nuc。在Rec为6000时，使用纳米颗粒浓度为0.1 vol%的Al2O3/水和SiO2/水纳米流体，与基水相比，Nuc分别提高了35.7%和16.2%。在Rec = 15000时，纳米颗粒浓度为0.3 vol%的Al2O3/水和SiO2/水的纳米流体的Nuc分别比浓度为0.1 vol%的纳米流体高35.5%和34.5%。此外，当Rec从6000增加到15000时，基水和Al2O3/水和SiO2/水纳米流体的Nuc分别提高了62%、96%和67.9%。这是由于Al2O3/水和SiO2/水纳米流体的导热系数高于基水。此外，增大体积浓度可以提高传热过程的性能。此外，由于使用纳米流体而不是基水而产生的优越传热是由于纳米流体流动产生的各种力，如阻力、升力、范德华力、布朗力、热泳力和静电力。图7显示了线圈努塞尔数(Nuc)为基水，Al2O3/水和SiO2/水纳米流体与不同的体积浓度与倾角(ɵ)从水平方向(0◦)垂直方向(90◦)Rec为15000。结果表明，与基水相比，Al2O3/水和SiO2/水纳米流体的利用提高了SHCT-HE的效率。

***6.2.SHCT-HE (ε)的有效性***

图8显示了在SHCT-HE垂直方向上，纳米颗粒体积浓度对热交换器(ε)对Rec的影响从6000到15000。结果表明，与基水相比，Al2O3/水和SiO2/水纳米流体的利用提高了SHCT-HE的效率。在Rec = 6000时，Al2O3/水和SiO2/水纳米流体浓度为0.1 vol%时，SHCT-HE的效率分别比基水高35.5%和15.6%。此外，随着纳米粒子体积浓度的增加，SHCT-HE的有效性增加。其中，在Rec = 15000时，采用Al2O3/water和SiO2/water浓度为0.3vol%的纳米流体时，SHCT-HE的效率分别比采用0.1 vol%浓度的纳米流体高25.5%和31%。利用高体积浓度的纳米流体可以提高传热速率，从而提高SHCT-HE的效率图9说明了SHCT-HE (ε)对具有不同体积浓度的Rec为15,000的纳米颗粒的水、Al2O3/水和SiO2/水纳米流体的倾斜角(ɵ)的有效性。在ɵ=90◦，0.3 vol%的Al2O3/水纳米流体的SHCT-HE的有效性比SiO2/水纳米流体的有效性高12.6%。采用Al2O3/水纳米流体的SHCT-HE比SiO2/水纳米流体的效果更好。此外，当SHCT-HE的倾角从0◦增大到90◦时，其对基水、Al2O3/水和SiO2/水纳米流体的有效性分别提高了23%、8.5%和6.5%。

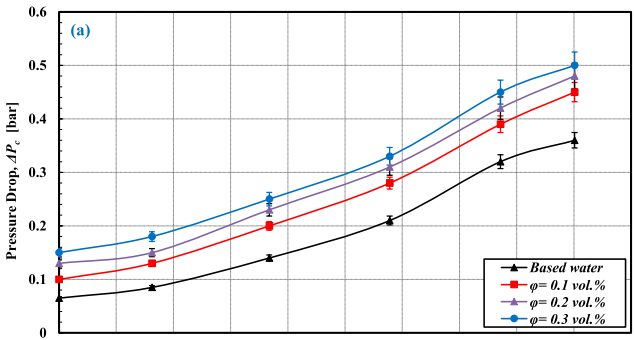


## 

（19）

## 定性分析

不确定度分析需要通过对相关变量的不确定度进行量化来评估所有测量的不确定度，从而评估结果的可信度是否可靠。对螺旋螺旋管和壳体入口和出口的所有温度(T)测量的不确定度以及SHCT-HE的倾斜角(ɵ)的不确定度进行了评估。此外，还估算了线圈雷诺数(Rec)和线圈压降(δ pc)的不确定度。因此，计算了相关参数如线圈努塞尔数(Nuc)的不确定度和SHCT-HE (ε)的有效性。实验参数的不确定度估计使用基水作为工作流体通过螺旋线圈的SHCT-HE的水平方向，基于所示的方法，不同参数的不确定度分析结果如表2所示。





# 



图10.不同体积浓度(a) Al2O3/水(b) SiO2/水纳米流体中SHCT-HE垂直方向的线圈压降(δ pc)与Rec的关系

*6.3.线圈压降 (****Δpc****)*

图10为纳米颗粒体积浓度对SHCT-HE垂直方向的Rec(ɵ=90◦)从6000到15000变化时，通过螺旋管的压降(δ pc)的影响。结果表明，δ pc随纳米粒子体积浓度的增加而增大。其中，在Rec = 15000时，采用0.1 vol%浓度的Al2O3/水和SiO2/水纳米流体的SHCT-HE通过盘管的δ pc分别比基水增加了25%和36.1%。当Rec = 15000时，Al2O3/水和SiO2/水纳米流体中纳米粒子的体积浓度分别从0.1 vol%增加近11%和10%，δ pc随之增加。动态粘度对通过换热器线圈的压降有相当大的影响，而不是纳米粒子的密度、速度和浓度。这种效应随着纳米粒子体积浓度的增加而显著。

图11显示了不同体积浓度的基水、Al2O3/水和SiO2/水纳米流体在Rec为15,000时，通过螺旋线圈的压降(δ pc)与倾角(ɵ)的关系。SiO2/水纳米流体的δ pc高于Al2O3/水纳米流体的δ pc。SiO2/水纳米流体的δ pc高于Al2O3/水纳米流体的δ pc。其中，在SHCT-HE的垂直方向上，纳米颗粒浓度为0.3 vol%的SiO2/water纳米流体的δ pc比Al2O3/water纳米流体的δ pc高8%。当纳米颗粒浓度为0.1 vol%时，SHCT-HE垂直方向的δ pc比水平方向的δ pc分别低11.8%和10.9%。不考虑Al2O3/水和SiO2/水纳米流体动态粘度的影响，SiO2/水纳米流体的密度比Al2O3/水纳米流体的密度低，因此其速度高，δ pc高。

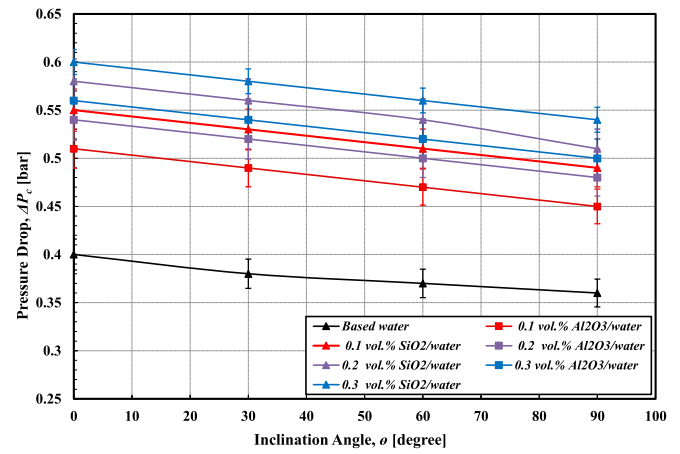


图11. 对于不同体积浓度的基水、Al2O3/水和SiO2/水纳米流体，在Rec = 15000时，线圈压降(δ pc)与SHCT-HE倾角的关系

***6.4.业绩评估准则(PEC)***

=

图12显示了Eqn中SHCT-HE的性能评价标准(PEC)。(21)不同体积浓度的Al2O3/水和SiO2/水纳米流体的SHCT-HE相对于Rec的垂直方向。结果表明，PEC随Rec和体积浓度的增加而增加。对于Rec = 15000时的Al2O3/水纳米流体，当体积浓度为0.1 vol%、0.2 vol%和0.3 vol%时，PEC值分别为1.27、1.41和1.67。氧化铝/水纳米流体对对流换热性能的改善大于δ pc对对流换热性能的提高;因此，PEC高于统一。对于体积分数为0.1的SiO2/水纳米流体，其对流换热增强小于对流换热增强。当SiO2/水纳米流体体积浓度为0.2 vol%和0.3 vol%时，PEC分别为1.11和1.28。当Rec = 15000时，将纳米粒子的体积浓度从0.1 vol%增加到0.3 vol%， Al2O3/水和SiO2/水纳米流体的PEC分别提高了31.5%和30.6%。此外，将Rec从6000增加到15000对使用SiO2/水纳米流体的SHCT-HE的PEC有轻微影响;而对于使用Al2O3/水纳米流体的SHCT-HE，其PEC有显著的影响，特别是对于较高的体积浓度。

图13给出了不同体积浓度的Al2O3/水和SiO2/水纳米流体在Rec为15000时，对倾斜角度(ɵ)的SHCT-HE性能评价标准(PEC)。在相同体积浓度下，Al2O3/水纳米流体的PEC高于SiO2/水纳米流体，且随倾角的增大而减小。对于SHCT-HE(ɵ=90◦)的垂直方向，0.3 vol%浓度的Al2O3/水纳米流体的PEC比相同浓度的SiO2/水纳米流体的PEC高出18.5%。此外，在不同体积浓度下，Al2O3/水纳米流体的对流换热比SiO2/水纳米流体的对流换热更大。

最后，根据已有的实验结果，利用多元回归分析得到了基于水的线圈努塞尔数(nuselt number, Nuc)与线圈雷诺数(Rec)和SHCT-HE (θ)的倾角(Eqn)的关系。此外，Al2O3/水和SiO2/水纳米流体作为线圈雷诺数(Rec)的函数，纳米粒子的体积浓度(ϕ)，和SHCT-HE (θ)在eqns中的倾角。SHCT-HE (θ)的倾斜角呈弧度，在(0.017≤θ(rad)≤1.571)范围内。

*Nuc* = 0.0347(*Rec*)0.578 (*θ*)0.0206 (20)

对Al2O3/水 纳米流体:

*Nuc* = 0.0344(*Rec*)0.681 (*θ*)0.0144 (*ϕ*)0.2567 (21)

对SiO2/水纳米流体:

*Nuc* = 0.062(*Rec*)0.596 (*θ*)0.0168 (*ϕ*)0.2522 (22)

上述相关性适用于图3所示的SHCT-HE设计参数的指定值的线圈和壳层雷诺数(RecandResh)的研究值，以及Al2O3和SiO2 (ϕ)的纳米粒子体积浓度的测试值。回归分析的结果表明，所检查的参数(Rec， θ， ϕ)对SHCT-HE的热性能有显著影响，如表3所示。所得到的经验方程的标准误差值在可接受的范围内，因此Nucare的计算值的变化与其可测量值很好地一致，如图14所示。结果表明，(20-22)式计算的Nuc值与实验值的最大偏差在±3%以内。



图12. (a) Al2O3/水(b) SiO2/水纳米流体垂直方向上SHCT-HE的性能评价标准(PEC)与Rec





***6.5.对目前工作的验证***

为了验证本文的工作，我们将本研究的线圈努塞尔数(Nuc)的实验和计算结果与Elshazly等人[20]和Salem等人[37]的结果进行了比较，如图15所示。线圈努塞尔特数的结果(Nuc)在当前实现中由于使用水由Eqn计算)和由于使用氧化铝/水nanofluid 0.3卷%体积浓度估计使用Eqn相比那些使用水和γ氧化铝/水nanofluid,分别。对SHCT-HE的水平方向进行了比较，并在6000 ~ 15000范围内检测了卷管雷诺数(Rec)。对比结果表明，随着卷管雷诺数的增加，卷管努塞尔数(nuselt number, Nuc)也随之增加，且趋势一致。

## 7.结论.

目前的调查实验研究进行传热和压降的壳牌和螺旋盘管换热器(SHCT-HE)基于不同倾角使用水,氧化铝/水和二氧化硅/纳米流体作为工作流体在各种线圈雷诺数(Rec)

从6000年到15000年。斜角(θ)是测量从水平轴的热交换器，其值是0◦，30◦，60◦，和90◦。采用盘管Nusselt数(Nuc)、换热器效率(ε)、盘管压降(δ pc)和性能评价标准(PEC)对SHCT-HE的性能进行了评价。结果表明，采用Al2O3/水和SiO2/水纳米流体制备的SHCT-HE的热性能和压降均受到倾斜角度的显著影响，得到以下结论:

在SHCT-HE垂直方向和盘管雷诺数为6000时，由于利用了0.1 vol% Al2O3/水纳米流体，与基于水的纳米流体相比，盘管Nusselt数和换热器的效率分别提高了35.7%和35.5%。

•

当线圈雷诺数为15000时，将SHCT-HE纳米流体的方向由水平方向改为垂直方向，对于0.1 vol%浓度的基水、Al2O3/水和SiO2/水纳米流体，线圈Nusselt数分别提高了近11%、8.3%和7.5%。

•

# 



图13.不同体积浓度的Al2O3/水和SiO2/水纳米流体的性能评价标准(PEC)与SHCT-HE在Rec = 15000时的倾斜角的关系



表3.回归统计的结果

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 等式. [(22)](#_bookmark16) | 等式. [(23)](#_bookmark17) | 等式. [(24)](#_bookmark18) |
| 多个 R | 0.993976355 | 0.992915594 | 0.991057 |
| R体 | 0.987988994 | 0.985881376 | 0.982195 |
| 调整后的 R体 | 0.986845089 | 0.985258496 | 0.981409 |
| 标志错误 | 0.021911851 | 0.030253979 | 0.030773 |
| 观测报告 | 24 | 72 | 72 |

* 在卷数为15000时，采用Al2O3/水和SiO2/水纳米流体(体积分数为0.3 vol%)的SHCT-HE比采用0.1 vol%浓度的SHCT-HE的效率分别高出25.5%和31%。

改变SHCT-HE的倾角从0◦90◦提高了23%，8.5%和6.5%的基础水和0.1 vol% Al2O3/水和SiO2/水纳米流体的有效性。

•

* 当线圈雷诺数为15000时，SiO2/水纳米流体的线圈压降比Al2O3/水纳米流体高8%。

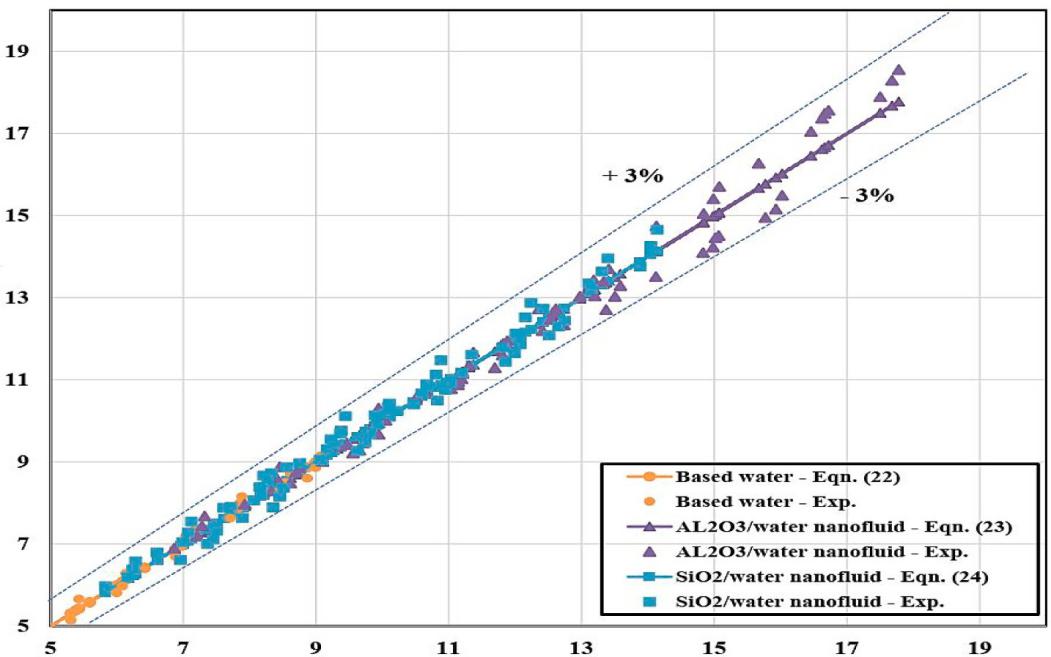




图14.不同工质的实验值与估算值的比较





图15.与以往研究的线圈努塞尔数(nuselt number, Nuc)比较

当线圈雷诺数为15000时，0.1 vol% Al2O3/水和0.1 vol% SiO2/水的SHCT-HE垂直方向的线圈压降分别比水平方向的低11.8%和10.9%。



•

当线圈雷诺数为15000时，0.1 vol% Al2O3/水和0.1 vol% SiO2/水的SHCT-HE垂直方向的线圈压降分别比水平方向的低11.8%和10.9%。

•

**参考文献**

